Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.273-301 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.74281.1145 Open access

Evaluating the Impact of Land Use Changes on Erosion and Sedimentation using the EPM model (Case Study: Kal-Aji Basin, Golestan Province)

Saleh Arekhi[a*], Somia Salmani[b], Somia Emadaddian[c]

[a]*Assistant Professor in Remote Sensing, Golestan University, Gorgan, Iran*
[b] *MA Student in Environmental Hazards, Golestan University, Gorgan, Iran*
[c] *Assistant Professor in Geomorphology, Golestan University, Gorgan, Iran*

Received: 19 December 2021 Revised: 26 January 2022 Accepted: 5 February 2022

Abstract

The present study was conducted to investigate the trend of land use changes and its impact on erosion and sediment, using Landsat satellite images of 1987, 2010 and 2019 and EPM model in the Kal-Aji watershed of Golestan province. Land use map was prepared using the maximum likelihood method. Training data were used to evaluate the accuracy of the results. Then, the most important methods of accuracy assessment, including total accuracy and classification kappa coefficient, were extracted. Those for 1987, 2010 and 2019, the total accuracy were 95, 98 and 95 and kappa coefficient were 0.93, 0.96 and 0.93, respectively. Erosion and sedimentation zoning maps were performed using the resulted land use maps, and such factors as slope, lithology, soil and precipitation were performed using the EPM method. The results showed that one of the most important factors in the Kal-Aji watershed is the loss of rangeland vegetation and its conversion into agricultural land. According to the hypothesis, the role of land use changes in the amount and increase of erosion and sediment was significantly determined. That is, with the change of land use, erosion and sediment have also increased. The reasons for the increase in the amount of sediment in the Kal-Aji area are the development of agricultural land uses and the decrease in rangeland between 1987 and 2019 (16.83%). These changes have reduced the important role of rangelands and vegetation of Kal-Aji watershed and have increased the amount of sediment in the outflow of sub-watersheds. Based on the obtained results, the total amount of special sediment was related to the period of 1987 (4353 cubic meters), which increased to 5164 cubic meters in 2019, which indicates the changes in land use that occurred in the watershed.

Keywords: Erosion and Sediment, Land Cover, Land Use, EPM, GIS, Kal-Aji

*-. Corresponding author: Saleh Arekhi Email: s.arekhi@gu.ac.ir Tel: + 989113690648

How to cite this Article: Arekhi, S., Salmani, S., & Emadodin, S. (2023). Evaluating the impact of land use changes on erosion and sedimentation using the EPM model (Case study: Kal-Aji basin, Golestan province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 273-301.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.74281.1145

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74281.1145

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۳۰۱-۲۷۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی روی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM (مطالعه موردی: حوضه کال‌آجی استان گلستان)

صالح آرخی[۱] – استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
سمیه سلمانی– دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
سمیّه عمادالدین– استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

چکیده

نوع و شدت فرسایش خاک در یک منطقه، تابع شرایط اقلیمی، پستی‌وبلندی زمین، خاک و کاربری اراضی است که در این میان، اهمیت کاربری اراضی به دلیل نقش مؤثر انسان بر آن نسبت به دیگر عوامل زیادتر است. هدف پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات کاربری اراضی/ پوشش گیاهی و تأثیر آن بر فرسایش و رسوب، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ لندست و مدل EPM در حوضه کال‌آجی استان گلستان است. نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش حداکثر احتمال تهیه گردید. برای ارزیابی صحت نتایج، از داده‌های آموزشی استفاده به عمل آمد. سپس مهم‌ترین روش‌های ارزیابی صحت، شامل دقت کل و ضریب کاپای طبقه‌بندی استخراج شد که برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به ترتیب، برای دقت کل ۹۵، ۹۸ و ۹۵ و ضریب کاپا ۰/۹۳، ۰/۹۶ و ۰/۹۳ درصد بود. نقشه‌های پهنه‌بندی شدت فرسایش و رسوب با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی حاصل و عواملی چون شیب، لیتولوژی، خاک و بارش با استفاده از روش EPM انجام شد. نتایج نشان می‌دهد از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش فرسایش

۱ نویسندۀ مسئول: ۰۹۱۱۳۶۹۰۶۴۸ Email:s.arekhi@gu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:
آرخی، صالح؛ سلمانی، سمیه؛ عمادالدین، سمیه؛ ۱۴۰۲. ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی روی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM(مطالعه موردی: حوضه کال‌آجی استان گلستان). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۳). صص ۳۰۱-۲۷۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74281.1145

و رسـوب در حوضـه آبخیز کال‌آجی از بین رفتن پوشـش گیاهی مرتعی و تبدیل آن به اراضـی کشـاورزی است؛ یعنی با تغییر کاربری بالطبع فرسایش و رسوب نیز افزایش یافته است. توسعه سطوح کاربری اراضی کشـاورزی و کاهش سـطوح مرتعی در بین سـال‌های ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۸۳ درصـد نسـبت به سـال ۱۳٦٦ است. این تغییرات نقش مهم تخریب مراتع و پوشش گیاهی حوضه آبخیز کال‌آجی در افزایش میزان رسـوب خروجی نشـان می‌دهد. بر اسـاس نتایج به دسـت‌آمده، مجموع مقادیر رسـوب ویژه مربوط به بازه زمانی ۱۳٦٦ (٤۳٥۳ مترمکعب) بوده که این میزان در سـال ۱۳۹۸ به ٥۱٦٤ مترمکعب افزایش داشـته اسـت که نشان از تغییرات کاربری اراضی رخ داده در حوضه است.

کلیدواژه‌ها: فرسایش و رسوب، پوشش‌گیاهی/ کاربری اراضی، EPM، GIS، کال‌آجی.

۱- مقدمه

معضـــل فرســـایش با کاهش حاصـــلخیزی خاک باعث تخریب اکوســـیســـتم‌های طبیعی نظیر جنگل‌ها و مراتع و اکوسـیسـتم‌های کشـاورزی می‌گردد. مطالعات متعددی نشـان داده که در میان عوامل مسـبب فرسـایش خاک، کاربری اراضـی از اهمیت بیشـتری نسـبت به سـایر عوامل برخوردار اسـت. پوشـش گیاهی به‌عنوان یک عامل کلیدی در تعیین کمیت و کیفیت فرسایش خاک و نیز پاسخ‌های هیدرولوژیکی سطحی زمین است (آدیلیا و همکاران[1]، ۲۰۱۱). نوع و شـدت فرسـایش عموماً تابع اقلیم، توپوگرافی، خاک و کاربری اراضـی اسـت که در این میان تأثیر کاربری اراضـی به دلیل نقش انســان بر چرخه طبیعت مهم‌تر از ســایر عوامل اســت. نوع کاربری اراضــی به همراه شــرایط مدیریت بهره‌برداری از آن به‌عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بشـری بر روی منابع طبیعی و بخصـوص فرسـایش خاک به شـمار می‌آید؛ بنابراین دانسـتن اینکه هرکدام از کاربری‌های اراضـی چه نقشـی در تولید فرسـایش و رسـوب دارند و با توجه به روند قبلی و شــرایط زمین محیطی منطقه، عوامل مؤثر و محرک در تغییر کاربری اراضــی کدام هســتند، از ابتدایی‌ترین اطلاعات برای مدیران و بهره‌برداران اراضــی به شــمار می‌آید. با توجه به نقش بهینه کاربری اراضــی در توسـعه پایدار و کاهش هدر رفت منابع طبیعی، می‌توان گفت که تغییرات کاربری اراضـی باعث به هم خوردن چرخه محیط طبیعی می‌گردد. همچنین به‌تبع آن فرسـایش خاک در اثر عدم مدیریت صـحیح اراضـی و کاربری نادرسـت آن باعث بروز اثرات نامطلوبی بر زندگی اقتصادی- اجتماعی ساکنین حوضه نیز خواهد شد.

در کشـور ایران به دلیل عدم توجه به مسئله و قابلیت و تناسب کاربری زمین، بیشتر اراضی به‌صورت نامناسب و نامعقول اسـتفاده می‌شـوند که این اسـتفاده نادرسـت، به‌شـدت فرسـایش و رسـوب حوضـه‌های آبخیز را افزایش می‌دهد. مطالعات زیادی در زمینه بررسـی تغییر کاربری و نقش آن بر روی فرسـایش و رسـوب صـورت گرفته اسـت که بعضـی از آن‌ها به شرح زیر است:

1 Adelia et al

شیلبرگ و همکاران[1] (۲۰۱٦)، به بررسی فرسایش توسط تغییرات استفاده از زمین در کوئینزلند استرالیا پرداختند. در این پژوهش میزان فرسایش آبرفتی و ویژگی سیلاب‌های پیش از آن برای ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی زمین در استرالیا را موردمطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش با GPS و عکس‌های هوایی تاریخی در ۱۸ محل در سراسر مگافان، نرخ فرسایش را به دست آورده و به این نتیجه رسیدند که چرای بیش‌ازحد دام‌ها از پوشش گیاهی و به وجود آمدن رواناب‌ها، اختلالاتی را در منطقه به وجود آورده‌اند که موجب فرسایش خاک‌های منطقه شده است. پاروسیون و همکاران[2] (۲۰۱۵)، در مطالعه خود با موضوع روشی برای مدل‌سازی اثرات تغییرات آب‌وهوا و کاربری اراضی در فرسایش و پایداری خاک در حوضه مدیترانه (لانگدوک، فرانسه) به این نتیجه رسیدند که حساسیت شدت فرسایش خاک به تغییرات کاربری اراضی بیشتر از تغییرات اقلیمی است. یوان و همکاران[3] (۲۰۱۵)، در مطالعه خود، رواناب سطحی و بار رسوب تحت کاربری اراضی مختلف در حوضه کوهستانی تای‌هانگ در شمال چین را شبیه‌سازی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که بار رسوب و رواناب در کاربری جنگل و بوته‌زار از همه کاربری‌ها کمتر است. میلوسکی[4] (۲۰۰۸) خطر فرسایش خاک در پایین‌دست حوضه آبخیز برجالنیکا، در جمهوری مقدونیه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، روش EPM و ابزار GIS بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که GIS ابزاری قدرتمندی برای پیش‌بینی و تخمین خطر احتمالی فرسایش خاک است. قهرمان‌نژاد و همکارانش (۲۰۱۷)، در تحقیقی به بررسی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با مدل USLE در حوضه کلیبرچای پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد، با افزایش اراضی دیم‌زار، میزان فرسایش افزایش و با افزایش اراضی پوشش درختی، میزان فرسایش کاهش می‌یابد. عابدینی و همکاران (۲۰۱۳) میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز مشکین‌چای (مشکین‌شهر- اردبیل) را با روش EPM برآورد نمودند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که سه عامل مهم توپوگرافی، لیتولوژی و تغییرات کاربری اراضی در کنترل فرسایش و رسوب نقش مهمی ایفا نموده‌اند. مقدار ضریب شدت فرسایش (Z)، عدد ۲، میانگین رسوب کل ۱۰۱۲۳۷٦٤ مترمکعب در سال، دبی رسوب ویژه ۱۹۳۹۷/۹ و فرسایش ویژه ۲۱۵۵۳/۳ به دست آمد که نشان‌دهنده فرسایش خیلی شدید در منطقه موردمطالعه است. بیات و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی با استفاده از مدل EPM و به کمک فناوری‌های سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و استفاده از تصاویر ماهواره ETM^+ به‌منظور تعیین اثر مدیریت کاربری اراضی بر میزان حوضه آبخیز دریاچه ارومیه به ارزیابی پرداختند. تاجیک (۲۰۰۷) اثر اقدامات آبخیزداری را بر روی سیل‌خیزی و رسوب‌دهی حوضه آبخیز رامیان را بررسی نمود. در بخشی از تحقیق خود با مقایسه نتایج مدل EPM با روش هیدرولوژیکی، برآورد بار معلق حد وسط دسته‌های دبی روزانه دریافت، دقت مدل EPM در این حوضه بالغبر ۹۹/۲ درصد است.

1 Shellberg
2 Paroissien
3 Yuan
4 Milevski

نبی‌پی لشکریان (۲۰۰۰) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی در میزان فرسایش و رسوب نمود. وی به روش‌های MPSIAC و EPM اقدام به مقایسه رسوب‌دهی حوضه در شرایط کاربری اراضی فعلی و آتی (متناسب با استعداد) اراضی نمود. نتایج حاصل از این دو روش نشان داد که در صورت اصلاح و احیای پوشش گیاهی و استفاده از اراضی بر اساس استعدادشان، فرسایش ویژه در روش MPSIAC به میزان ۹/۲۳ درصد و در روش EPM به میزان ۲۲/۹۸ درصد کاهش خواهد یافت.

اسفندیاری و همکاران (۲۰۱٤) در مطالعه‌ای در حوضه رود ورس قزوین، به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کاربری زراعی از بیشترین و مراتع از کمترین پتانسیل برای فرسایش برخوردار بودند. مرادی و همکاران (۲۰۱٦) نیز به ارزیابی تغییر کاربری اراضی مرتعی به دیم‌زار در دو شهرستان رابر و ارزوئیه پرداختند. نتایج نشان داد گسترش فعالیت‌های زراعی سبب می‌شود مراتع به زمین‌های کم بازده تبدیل شود. فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش حوضه علویان را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که تبدیل اراضی مرتعی پر تراکم به مراتع کم‌تراکم و زراعت دیم، مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه است. اصغری‌سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۷) نیز به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیر و تأثیر آن بر فرسایش منطقه پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به ترتیب ۱۲/٥٤ و ۲٦/٥۱ درصد از مساحت شهرستان، در دو طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد. به‌طور عمده مناطق با طبقه بسیار پرخطر و پرخطر در هر دو دوره زمانی، در کاربری‌های زراعت دیم و زراعت آبی– باغات قرار دارند.

دادرسی‌سبزوار (۱۳۸٤) اثر تغییرات عمق و شیب بر میزان تولید رسوب را موردبررسی قرار داد و نتیجه‌گیری کرد که رابطه مستقیمی بین میزان تولید سالانه با زاویه و طول شیب و رابطه عکس با عمق خاک وجود دارد. نتایج مطالعات باتنی و گریسمر[1] (۲۰۰۰) نشان داد افزایش درصد شیب بین ٤ الی ۱٦ درصد، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر روی میزان هدررفت خاک دارد.

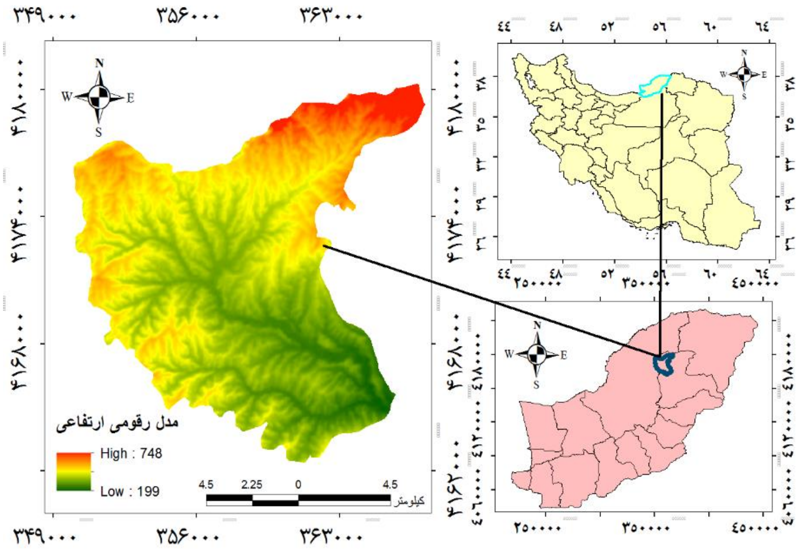
حوضه آبخیز کال‌آجی به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های گرگانرود در طی سالیان گذشته فرسایش شدیدی را متحمل شده است. این فرسایش به دلایل مختلفی رخ داده که یکی از آن‌ها تغییرات در کاربری زمین و ضعف مدیریت منابع آب‌وخاک است. هدف از این مطالعه برآورد تغییرات حاصل شده در فرسایش خاک و رسوب حوضه آبخیز کال‌آجی در یک بازه زمانی ۳۲ ساله و بررسی نقش کاربری اراضی و پوشش زمین در میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM است. برای سنجش تغییرات کاربری زمین از مقایسه تغییرات طبقه‌بندی تصاویر لندست برای سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ استفاده گردید.

1 Battanyand Grismer

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

حوضه آبخیز کال‌آجی با مساحت ۱۷۰۹۹ هکتار، ۰/۸۳ درصد مساحت استان و ۱/۴۷ درصد مساحت حوضه آبخیز گرگانرود گلستان را به خود اختصاص داده است. این حوضه در محدوده طول شرقی ۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه و ۰۴ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۲ ثانیه و عرض شمالی ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه و ٤٤ ثانیه تا ۳۷ درجه و ٤٥ دقیقه و ۳۷ ثانیه تقریباً در شمال شهر کلاله، واقع در شرق استان گلستان است. این حوضه در سرشاخه گرگانرود قرار داشته و از مناطق سیل‌خیز منطقه است. بلندترین نقطه حوضه ۷٦٤ متر است که در شمال شرقی حوضه واقع شده است و کمترین ارتفاع آن مربوط به خروجی حوضه است که حدود ۲۲۰ متر ارتفاع دارد و بارش متوسط آن ٤۲٥ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱٦/٤٤ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم نیمه‌خشک است. بیشترین بارش متوسط کل حوضه مربوط به ماه اسفند با ٦۰/۱۱ میلی‌متر و کمترین آن به ماه تیر با ۱۲/٤٤ میلی‌متر است. شکل شماره ۱ نشان دهنده موقعیت محدوده موردمطالعه در تقسیمات سیاسی استان گلستان است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز کال‌آجی در تقسیمات سیاسی کشور

۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق پس از به دست آوردن اطلاعات و جمع‌آوری آمار مربوط به منطقه، شامل نقشه توپوگرافی، اطلاعات هواشناسی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و اطلاعات مربوط به کاربری اراضی و پوشش گیاهی حاصل از

تجزیه و پردازش و اعمال تصحیحات لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای: ۱- لندست ۵ سنجنده TM به تاریخ ۱۳٦٦/٤/۱۵؛ ۲- لندست ۷ سنجنده ETM^+ به تاریخ ۱۳۸۹/٤/۳۰؛ ۳- لندست ۸ سنجنده OLI به تاریخ ۱۳۹۸/٤/۲۵، اقدام به تولید لایه‌های رستری عامل‌های دخیل در فرسایش و رسوب، مربوط به مدل EPM در محیط GIS شد. در این روش چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوضه آبخیز (Ψ)، ضریب کاربری اراضی (X_a)، ضریب حساسیت سنگ‌وخاک به فرسایش (Y) و شیب حوضه (I) موردبررسی قرار گرفت. نقشه زمین‌شناسی حوضه موردمطالعه، با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است. همچنین، آمار مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در دوره آماری ۳۲ سال آبی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸، از بایگانی و آمارهای شرکت منابع آب ایران و گزارش تلفیق مطالعات منابع آب گرگانرود استخراج گردید.

۲-۲-۱- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

امروزه رایج‌ترین روش برای تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی، استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور است (قوشه و همکاران[1]، ۲۰۱۳). تصاویر مورداستفاده مربوط به ماهواره لندست و سنجنده‌های TM، ETM^+ و OLI می‌باشند که بعد از اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتریک در تصاویر و انتخاب باندهای مناسب برای هر تصویر، طبقه‌بندی و استخراج لایه‌های کاربری از تصاویر مربوط به سه دوره انجام پذیرفته و در آخر برای ارزیابی صحت لایه‌های تهیه شده، از دو روش دقت کل و ضریب کاپا استفاده شده است.

۲-۲-۲- تصحیح هندسی و رادیومتریک

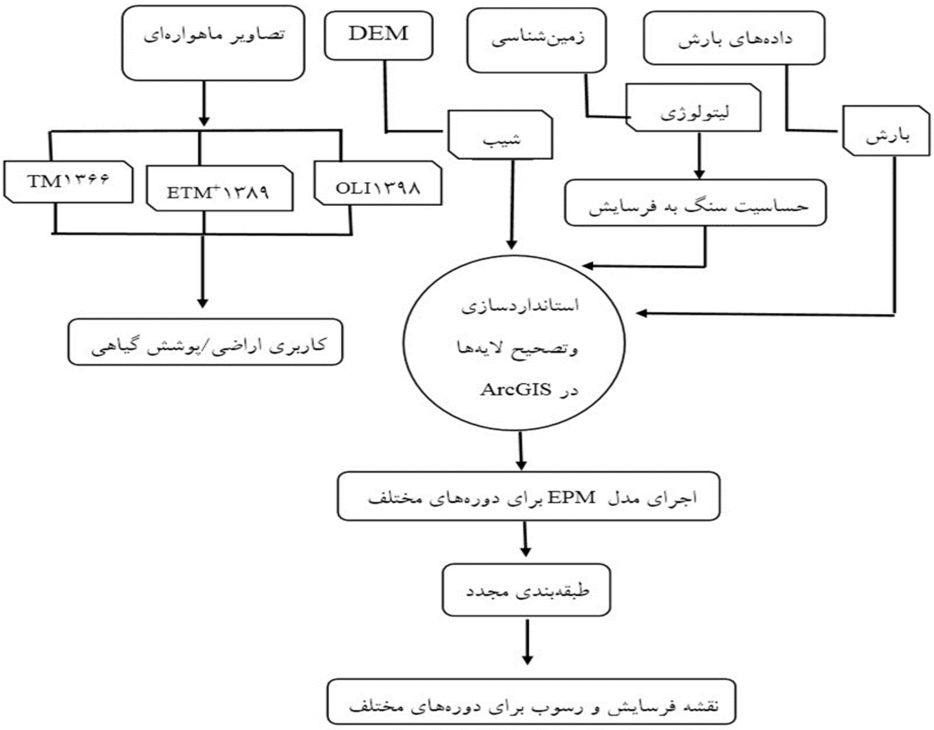
در این مطالعه، به‌منظور تصحیح هندسی، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان جغرافیایی ارتش استفاده گردید. در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار ENVI5.3 اقدام به اعمال تصحیح‌های هندسی بر روی تصاویر شد و تصویر سنجنده OLI سال ۱۳۹۸ با استفاده از روش تصویر- وکتور، زمین مرجع شد. برای این کار از ۳۹ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب و در تقاطع جاده‌ها، آبراهه‌ها و ... استفاده گردید، تا مدل ریاضی که برای پیدا کردن ضرایب مجهول در معادله مورداستفاده قرار می‌گیرد، خطای کمتری داشته باشد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح شده به تصویر تصحیح نشده، از تابع درجه اول استفاده گردید و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده و درنهایت سنجنده OLI با خطای RMSE معادل ۰/۳۱ زمین مرجع گردید. تصحیح هندسی تصویر TM سال ۱۳٦٦ و ETM^+ سال ۱۳۸۹ به روش تصویر به تصویر انجام شد. بدین منظور تصویر ۱۳۹۸ بعد از تصحیح هندسی به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد. ابتدا نقاط کنترل انتخاب شدند، سپس نقاطی که دارای خطای زیادی بودند از جدول مربوطه حذف شدند و درنهایت با حذف ۸ و ۱۰ نقطه کنترل زمینی، تصویر TM با ۳۸ و تصویر ETM^+ با ۳۵ نقطه کنترل با خطای معادل ۰/۳۰ و ۰/۳۵ تصحیح شد.

1 Ghosh et al

به‌منظور تعیین تغییرات علاوه بر هم مختصات بودن تصاویر، باید ابعاد پیکسل‌های آن‌ها نیز یکسان که در این تحقیق اندازه همه پیکسل‌ها ۲۸/۵ متر است.

در ضمن، تصحیح رادیومتریک زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چند زمانه یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف و یا سنجنده‌های مختلف هستند، استفاده شود. دو نوع تصحیح رادیومتریک وجود دارد، تصحیح رادیومتریک مطلق و تصحیح رادیومتریک نسبی. روش تصحیح رادیومتریک مطلق نیازمند ورود داده‌های مربوط به خصوصیات اتمسفریک و کالیبراسیون سنجنده است. انجام این تصحیح در اغلب موارد و به‌خصوص برای داده‌های قدیمی کار بسیار سختی است (دیو و همکاران[1]، ۲۰۰۲). در مقابل تصحیحات رادیومتریک نسبی با هدف کاهش متغیرهای اتمسفریک و غیرمنتظره در میان تصاویر چندزمانه صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی، کاهش تیرگی پدیده[2] است. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره‌رنگ دارای تابش صفر در همه طول‌موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که مقادیر آن‌ها صفر یا نزدیک به یک است (مثل آب). به‌این‌ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به‌صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌گردد. به همین دلیل جهت حذف خطای رادیومتریک بایستی ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به هر باند کم شود. کاهش تیرگی پدیده یک روش ساده است که به‌طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (چاوز و مکنون[3]، ۱۹۹٤). در این مطالعه از این روش جهت تصحیح رادیومتریک تصاویر ذکر شده در بالا استفاده شده است. شکل ۲ مراحل مفهومی تحقیق را نمایش می‌دهد.

1 Du et al
2 Dark Object Subtraction
3 Chavez and Mackinnon



شکل ۲- فلوچارت مراحل انجام کار

۲-۲-۳- بررسی میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM

آگاهی از وضعیت فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز نیاز به مطالعه و بررسی عوامل مؤثر در این فرآیند پیچیده دارد. به دلیل پیچیدگی این فرایندها و کمبود آمار مناسب و فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری رسوب در کشور، چنین مطالعاتی با استفاده از روش‌ها و مدل‌هایی که در سایر کشورها توسعه یافته‌اند، انجام می‌گیرد. در این تحقیق برای برآورد شدت فرسایش و تولید رسوب حوضه آبخیز موردمطالعه از روش EPM و تکنیک‌های RS و GIS استفاده شده است. بعد از وارد کردن نقشه‌ها به محیط نرم‌افزار ARCGIS و زمین مرجع کردن آن‌ها، لایه‌های مورد نیاز رقومی و پایگاه اطلاعاتی برای آن‌ها ایجاد شد. با استفاده از مدل EPM، عوامل مؤثر در فرسایش در زیرحوضه‌ها ارزیابی و امتیازبندی شد. در این روش که در حقیقت ضریب شدت فرسایش است، چهار عامل ضریب شدت فرسایش حوضه آبخیز (Ψ)، ضریب کاربری اراضی (X_a)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه آبخیز (I) در زیر حوضه‌های مختلف و درنهایت در کل حوضه آبخیز موردمطالعه قرار گرفت. در هر یک از این زیرحوضه‌ها بر اساس چهار عامل، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش، متوسط سالانه رسوب ویژه (میزان رسوب تولید شده در واحد سطح) و مقدار رسوب تولید شده در طول سال در سطح زیرحوضه‌ها و بالاخره در کل حوضه محاسبه گردیده است.

برای سهولت و دقت کار در به دست آوردن میزان فرسایش و تولید رسوب، ابتدا کل حوضه آبخیز کال‌آجی به ۷ زیرحوضه تقسیم شد. سپس عوامل مؤثر در تولید رسوب در هر یک از زیرحوضه‌ها موردمطالعه قرار گرفت. در مرحله بعد میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از فرمول‌ها و ضرایب مربوطه به دست آمد که در زیر به بررسی هر یک از عوامل چهارگانه خواهیم پرداخت.

۲-۲-۳-۱- تعیین ضریب استفاده از زمین یا ضریب کاربری زمین (Xa)

بعد از انتخاب ترکیب باندهای مناسب برای هر دوره (TM432، $ETM^{+}432$ و OLI543)، برای تهیه نقشه کاربری اراضی نیاز به نمونه‌های تعلیمی از منطقه مطالعاتی است. نمونه‌های تعلیمی از طریق تفسیر بر روی تصاویر ماهواره‌ای و از روش ROI[1] در محیط نرم‌افزار ENVI به دست می‌آید. نمونه‌های اخذ شده از تصاویر، معرف طبقات کاربری اراضی است که در فرایند پردازش تصاویر به‌عنوان پیکسل‌های آموزشی عمل می‌کنند. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و نمونه‌های آموزشی، نقشه‌های کاربری اراضی برای منطقه موردمطالعه به کمک طبقه‌بندی نظارت شده با روش بیشترین احتمال، تهیه شده است.

روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال هنوز هم یکی از رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی تصویر است (بولستد و لیسند[2]، ۱۹۹۱). در این روش، طبقه‌بندی براساس واریانس و کوواریانس انجام می‌شود. در روش مذکور فرض بر این است که همهٔ مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گسترهٔ پیوسته قرار گیرد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیکسل موردنظر به کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد (علوی پناه و احسانی، ۲۰۰۳).

امتیاز ضریب استفاده از زمین بین ۰/۱ تا ۱ متغیر است. با استفاده از نقشه کاربری اراضی تولید شده برای سال‌های موردمطالعه و شرایط استفاده از زمین برای هر یک از کاربری‌ها، امتیازی اختصاص داده می‌شود و سپس با استفاده از مساحت اشغال شده توسط هر کاربری در هر زیرحوضه، میزان متوسط وزنی ضریب استفاده از زمین در هر زیر حوضه محاسبه گردید.

۲-۲-۳-۲- ضریب حساسیت سنگ و خاک نسبت به فرسایش (Y)

امتیاز این عامل بین ۰/۲۵ تا ۲ متغیر است و بسته به مقاومت سنگ در مقابل فرسایش درجات مختلف به آن تعلق می‌گیرد. بدین ترتیب میزان امتیاز ضریب حساسیت خاک نسبت به فرسایش هر یک از سازندهای موجود در سطح حوضه از طریق جداول مربوطه تعیین گردید و سپس با توجه به وزن فرسایشی هر سازند و مساحت اشغال شده

1 Region of Interest
2 Bolstad and Lillesand

توسط آن در هر زیرحوضه، میزان متوسط وزنی ضریب حساسیت خاک نسبت به فرسایش در هر زیرحوضه محاسبه گردید.

۲-۲-۳-۳- ضریب فرسایش حوضه (Ψ)

امتیاز این عامل بین۰/۱ تا ۱ متغیر است. این عامل در اصل وضعیت فعلی فرسایش را در سطح حوضه نشان می‌دهد. با استفاده از نقشه کاربری اراضی تولید شده برای سال‌های موردمطالعه و ویژگی‌های فرسایش هر کاربری، به هر یک از کاربری‌ها امتیازی اختصاص داده شده و سپس با استفاده از مساحت اشغال شده توسط هر کاربری در هر زیرحوضه، میزان متوسط وزنی ضریب فرسایش در هر زیرحوضه محاسبه شد.

۲-۲-۳-٤- تعیین شیب متوسط حوضه (I)

در این مطالعه، جهت استخراج پارامتر شیب، از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه در صد متوسط شیب استخراج گردید.

با توجه به چهار فاکتور محاسبه شده در مرحله قبل، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش برای هر یک از زیرحوضه‌ها و درنهایت کل حوضه آبخیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$Z=Xa.Y(\Psi+I^{½}) \qquad \text{رابطه ۱}$$

در روش EPM برای تخمین متوسط سالانه فرسایش ویژه که در حقیقت میزان فرسایش را در واحد سطح (هکتار یا کیلومترمربع) حوضه را نشان می‌دهد، از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$Wsp = T.H.Z^{1.5}\,Pi \qquad \text{رابطه ۲}$$

که در آن Wsp: مقدار فرسایش برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، H متوسط بارندگی سالیانه حوضه برحسب میلی‌متر، Z شدت فرسایش، Pi= عدد ثابت پی معادل ۳/۱٤ و T: ضریب درجه حرارت که از رابطهٔ ۳، به دست می‌آید (احمدی، ۲۰۰۷).

$$T= (t/10 + 0.1)^{0.5} \qquad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه (t) متوسط درجه حرارت سالیانه حوضه برحسب درجه سانتی‌گراد است.

مقدار Wsp محاسبه‌شده در رابطه ۲، بیان‌کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جدا شده و انتقال یافته است، اما همه این مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه نمی‌رسد و آن مقدار خاک فرسایش یافته که به رسوب خروجی تبدیل خواهد شد، بستگی به متغیرهای مختلفی دارد که درواقع بر ضریب رسوب‌دهی حوضه تأثیر می‌گذارد (قنبرزاده و غلامرضایی، ۲۰۰۷).

مقدار رسوب ویژه حوضه آبخیز از طریق رابطه ٤، به دست می‌آید، که در آن Gsp: رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، Wsp: فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع و R_U: ضریب

رسوب‌دهی حوضه آبخیز است. ضریب رسوب‌دهی حوضه یا ضریب نگهداشت مواد فرسایش یافته معین می‌نماید که چه میزان مواد رسوبی از نقطه خروجی خارج می‌شود و مقدار آن از طریق رابطه ۵، حاصل می‌شود. در این رابطه L طول حوضه به کیلومتر، P: محیط حوضه به کیلومتر و D اختلاف ارتفاع برحسب کیلومتر که از رابطه ٦، به دست می‌آید (رفیعی، ۲۰۰۹).

$$G_{sp} = W_{sp} \cdot R_u \quad \text{رابطه ٤}$$

$$R_u = 4(P * D)^{0.5} / L + 10 \quad \text{رابطه ٥}$$

$$D = D_{av} - D_{\circ} \quad \text{رابطه ٦}$$

در رابطه ٦، Dav: ارتفاع متوسط حوضه آبخیز و D_0: ارتفاع نقطه خروجی رودخانه است. مقدار رسوب کل حوضه از رابطه ۷، به دست می‌آید (احمدی، ۲۰۰۷):

$$G_S = G_{SP} \cdot A \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن: Gs رسوب کل برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، G_{sp} رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع و A مساحت حوضه آبخیز برحسب کیلومترمربع است.

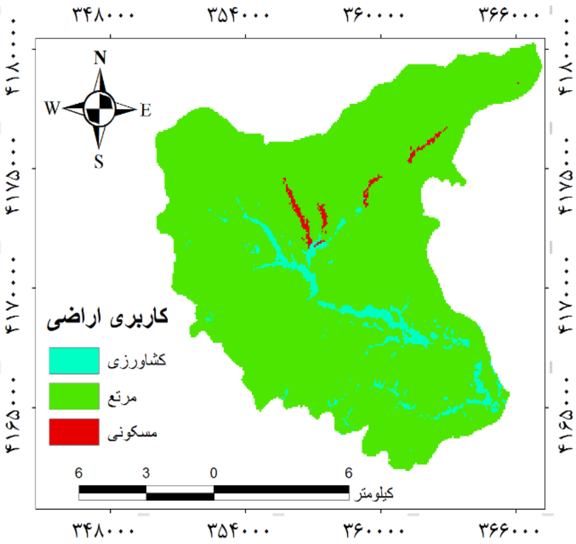
۳- نتایج و بحث

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نقاط کنترل زمینی، تصاویر با خطایی حدود ۰/۳۲ زمین مرجع گردید تصاویر تطابق یافته، دقت بالای عمل تطابق هندسی مورد تائید قرار گرفت. همچنین برای تصحیح رادیومتریک از روش تصحیح رادیومتریک نسبی استفاده گردید. این روش برای کاهش اثرات پخش اتمسفریک بر روی تصویر است. در ضمن، تعداد پوشش/ کاربری اراضی با توجه به تصاویر و نقشه‌های کاربری موجود و شرایط منطقه موردمطالعه و بازدید میدانی برای تهیه نقشه پوشش زمین به چهار کلاس تقسیم شده است که عبارتند از: مرتع، کشاورزی، مسکونی و پهنه‌های آبی.

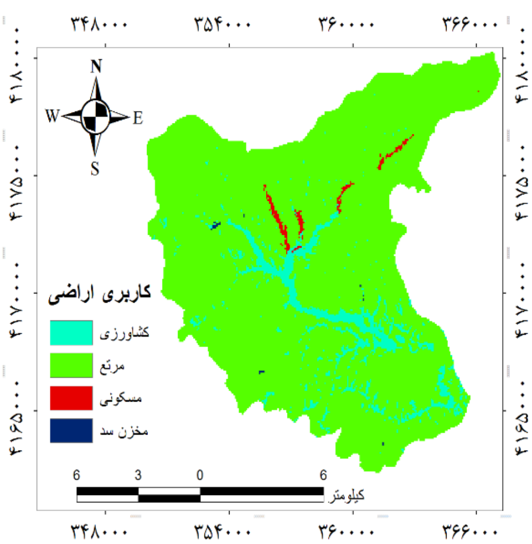
پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیابی صحت پرداخته شد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی، انتخاب یک‌سری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی لازم است. بدین‌جهت تصاویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌های زمینی تهیه‌شده به نرم‌افزار ENVI انتقال یافته و میزان دقت کاربری‌ها (دقت کل و ضریب کاپا) به دست آمد. دقت کل در نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به ترتیب ۹۵، ۹۸ و ۹۵ در صد بود. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت در سه دوره موردمطالعه، میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی بسیار بالاست.

۳-۱- انواع کاربری اراضی و میزان تغییرات آن‌ها

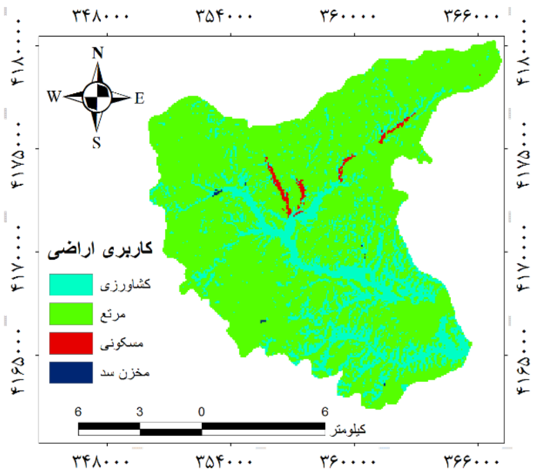
در شکل‌های ۳ تا ۵ نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ١٣٦٦، ١٣٨٩ و ١٣٩٨ به ترتیب نشان داده شده است. در ادامه نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ١٣٦٦، ١٣٨٩ و ١٣٩٨ ارائه شده است. همچنین در جدول ١ نمودار درصد تغییرات طبقات پوشش زمین مرتع، کشاورزی، مسکونی و پهنه‌های آبی نشان داده شده است. چنانچه در شکل ٦ مشاهده می‌شود، در تمام سال‌های موردمطالعه، بیشترین طبقه پوشش زمین مربوط به مرتع و کمترین آن مربوط به کاربری کشاورزی، مسکونی و پهنه‌های آبی است. همچنین در شکل ٦ مشاهده می‌شود، در تمام دوره‌های موردمطالعه روند تغییرات مرتع به‌صورت کاهشی ولی روند تغییرات کشاورزی به‌صورت افزایشی بوده است.



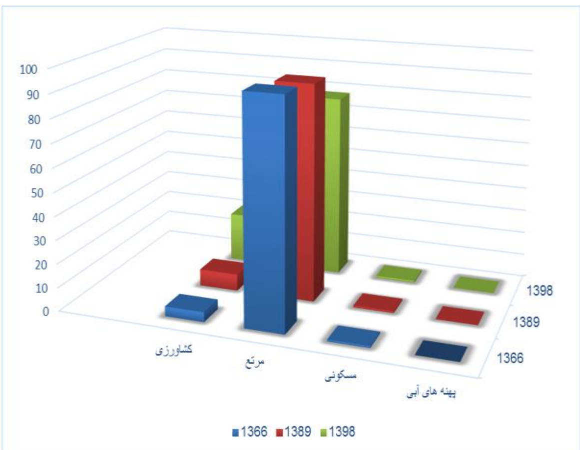
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی در سال ١٣٦٦



شکل ٤- نقشه کاربری اراضی در سال ١٣٨٩



شکل ٥- نقشه کاربری اراضی در سال ١٣٩٨



شکل ٦- نمودار تغییرات مساحت کاربری اراضی در بازه زمانی بین ١٣٦٦ تا ١٣٩٨

جدول ۱- مساحت کاربری‌های اراضی در سال‌های مختلف

کاربری سال	سال ۱۳۶۶		سال ۱۳۸۹		سال ۱۳۹۸	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
کشاورزی	۷۱۷/۱۳	٤/۱۹	۱۲۳۲/۲۷	۷/۲۱	۳۵۹۳/۲۹	۲۱/۰۲
مرتع	۱٦۲۵۱/۳۵	۹۵/۰٤	۱۵۷۲۱/۸٦	۹۱/۹٤	۱۳۳۵۷/۳٦	۷۸/۱۲
مسکونی	۱۳۱/٦۳	۰/۷۷	۱۳۲/۲۰	۰/۷۷	۱۳۳/٦۳	۰/۷۸
پهنه آبی	۰	۰	۱٤/۱۸	۰/۰۸	۱٤/۱۸	۰/۰۸

مع‌الوصف بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، تغییرات انواع کاربری اراضی طی بازه‌های زمانی ۱۳٦٦ و ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به شرح زیر است:

۳-۱-۱- اراضی با کاربری کشاورزی

سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۸۳ درصد افزایش داشته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید سطح این اراضی ۷۱۷/۱۳ هکتار (٤/۱۹ درصد) در سال ۱۳٦٦ به ۱۲۳۲/۲۷ هکتار (۷/۲۱ درصد) در سال ۱۳۸۹ و ۳۵۹۳/۲۹ هکتار (۲۱/۰۲ درصد) در سال ۱۳۹۸ افزایش داشته است. از علل مهم افزایش وسعت این نوع کاربری می‌توان به پدیده مهاجرت و ازدیاد جمعیت در سال‌های اخیر و متعاقب آن تبدیل مراتع و اراضی فاقد کاربری به باغات و اراضی کشاورزی اشاره نمود.

۳-۱-۲- اراضی با کاربری مرتع

سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۹۲ درصد کاهش داشته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید سطح این اراضی ۱٦۲۵۱/۳۵ هکتار (۹۵/۰٤ درصد) در سال ۱۳٦٦ به ۱۵۷۲۱/۸٦ هکتار (۹۱/۹٤ درصد) در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۳۵۷/۳٦ هکتار (۷۸/۱۲ درصد) در سال ۱۳۹۸ کاهش داشته است. دلیل این کاهش، تبدیل اراضی مرتعی به باغات و اراضی کشاورزی در طی سالیان ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ بوده است که خود از پیامدهای افزایش جمعیت در سال‌های اخیر است.

۳-۱-۳- اراضی با کاربری مسکونی

سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱ درصد افزایش داشته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید سطح این اراضی ۱۳۱/٦۳ هکتار (۰/۷۷ درصد) در سال ۱۳٦٦ به ۱۳۲/۲۰ هکتار (۰/۷۷ درصد) در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۳/٦۳ هکتار (۰/۷۸ درصد) در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است.

۳-۱-٤- اراضی با پهنه آبی

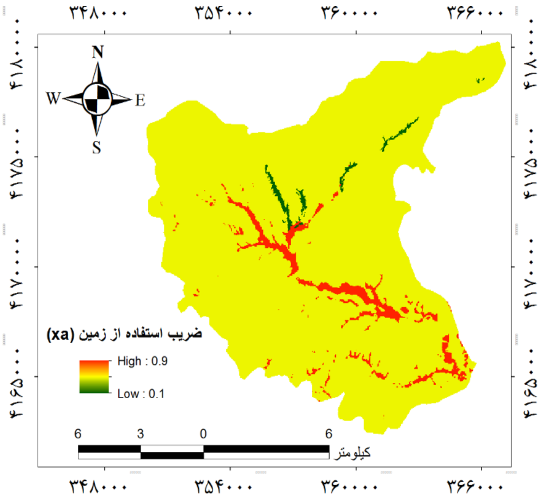
سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ هیچ‌گونه تغییری نیافته است. نتیجه حاصل از بررسی نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ نشانگر تغییراتی در مساحت انواع کاربری‌ها است. ازجمله دلایل کاهش سطح مراتع می‌توان افزایش روزافزون جمعیت که موجب تغییر کاربری مرتعی و تبدیل آن به زمین‌های زراعتی، مناطق مسکونی و ... شده است. البته عوامل طبیعی دیگری نظیر عوامل اقلیمی مانند سرمای زودرس، خشک‌سالی و عوامل بیولوژیک مانند طغیان آفات نیز در تخریب مراتع حوضه نقش بسزایی دارد؛ اما کاهش سطح مراتع حوضه را می‌توان به دلیل استفاده بی‌رویه دامداران جهت تعلیف احشام خود دانست؛ بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان تا حدودی از وضعیت کاربری‌ها پیشین آگاه شد و این توانایی را به محقق می‌دهد که بتولند با تعیین کاربری‌ها و مقایسه با کاربری‌های فعلی تا اندازه‌ای از تغییرات مساحت‌ها و نقش این تغییرات در افزایش فرسایش و رسوب و حتی مشکلات عدیده‌ای نظیر سیل و... مطلع شد.

۳-۲- مقادیر ضریب استفاده از زمین یا ضریب کاربری زمین (X_a)

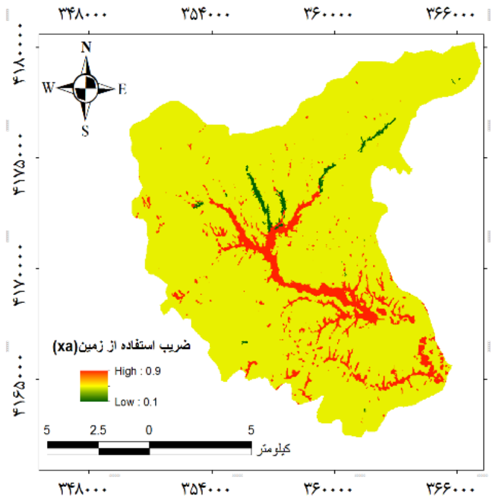
مطالعه کاربری اراضی حوضه کال آجی نشان می‌دهد، حوضه موردمطالعه از ٤ کاربری تشکیل‌شده است که در جدول ۲ انواع مختلف کاربری و در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ ضرایب مربوط به هر نوع کاربری در سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ و در جدول ۳ ضرایب مربوط به هر نوع کاربری در زیر حوضه‌های مختلف نشان داده شده است. کاربری اراضی به‌عنوان یکی از فاکتورهای اصلی فرسایش خاک محسوب می‌شود و با توجه به نقشه کاربری اراضی درصد خیلی زیادی از مساحت حوضه به کاربری مرتع و کشاورزی اختصاص داده شده است که امتیاز حاصله در جدول ذیل نشان داده شده است.

جدول ۲- انواع مختلف کاربری در حوضه و ضرایب استفاده از زمین

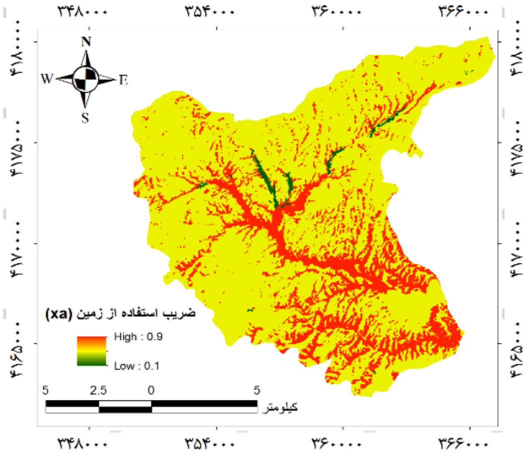
شماره	نوع کاربری	ضریب استفاده از زمین (X_a)
۱	مسکونی	۰/۱
۲	کشاورزی	۰/۹
۳	مرتع	۰/۵
٤	سطوح آبی	۰/۱



شکل ٧- نقشه ضریب استفاده از زمین در سال ١٣٦٦



شکل ٨- نقشه ضریب استفاده از زمین در سال ١٣٨٩



شکل ٩- نقشه ضریب استفاده از زمین در سال ١٣٩٨

جدول ٣- مقادیر ضریب استفاده از زمین (X_a) در هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی

زیر حوضه‌های آبخیز	١٣٦٦Xa-	-١٣٨٩Xa	١٣٩٨Xa-	میزان تغییرات
١	٠/٥١	٠/٥٢	٠/٦١	٠/١
٢	٠/٥١	٠/٥٢	٠/٥٥	٠/٤
٣	٠/٥٤	٠/٥٦	٠/٦٣	٠/٩
٤	٠/٥١	٠/٥١	٠/٥٦	٠/٥
٥	٠/٤٨	٠/٤٩	٠/٥١	٠/٣
٦	٠/٤٨	٠/٤٨	٠/٥٢	٠/٤
٧	٠/٤٩	٠/٥٠	٠/٥٣	٠/٤

بر اساس جدول شماره ۳ می‌توان نتیجه گرفت مقدار ضریب استفاده از زمین در مجموع در همه زیرحوضه‌ها افزایشی بوده و در ضمن در زیرحوضه شماره ۱ مقدار آن حداقل (۰/۱) و در زیرحوضه شماره ۳ مقدار آن حداکثر (۰/۹) است.

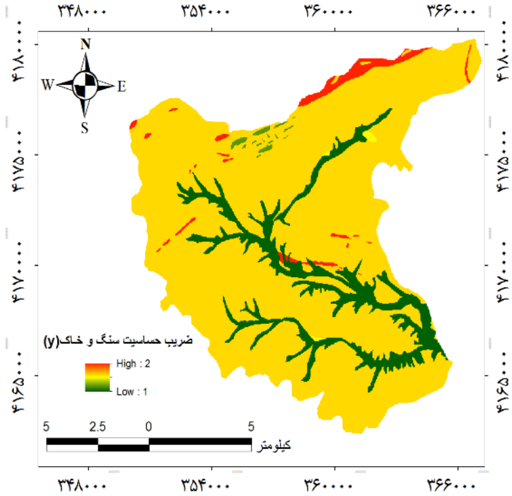
۳-۳- ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)

امتیاز عامل زمین‌شناسی از منابع مختلف (تنگستانی، ۲۰۰۶؛ یمانی و اسکندرنژاد، ۲۰۱۰؛ خاکسار و همکاران، ، ۲۰۰۶) اخذ و طی آن از نظر مقاومت برای سنگ‌شناسی دامنه بین ۰/۱ تا ۲ لحاظ شده است، به‌طوری‌که سنگ‌های سست و بسیار حساس به فرسایش بیشترین امتیاز (کد ۲) و سنگ‌های مقاوم و سخت، کم‌ترین امتیاز (کد ۰/۱) را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به گزارش زمین‌شناسی، منطقه موردمطالعه از لحاظ لیتولوژی و حساسیت به فرسایش به ۷ کلاس حساسیت تفکیک گردیده که در شکل ۱۰ مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در حوضه آبخیز کال‌آجی آورده شده است.

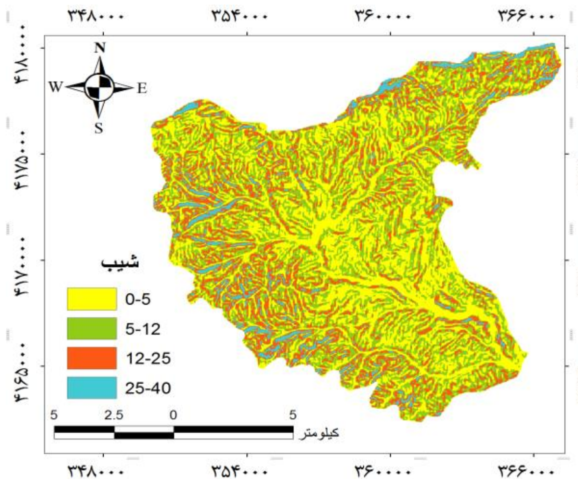
۳-٤- محاسبه شیب متوسط (I)

شیب حوضه رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای با نفوذ آب و جریان سطحی و نیز رطوبت خاک دارد و در میزان فرسایش و تولید رسوب حوضه مؤثر است؛ بنابراین وجود این عامل به‌صورت بحرانی نقش تأثیرگذار در روند فرسایش و تولید رسوب می‌تواند داشته باشد (دیا و لی[1]، ۲۰۰۲). دامنه کلاس‌های شیب به‌کاررفته در این مطالعه برحسب درصد عبارتند از: ۰-۵، ۵-۱۲، ۱۲-۲۵ و ۲۵-۴۰. در شکل ۱۱ نقشه شیب منطقه و همچنین در جدول ٤ شیب حوضه آبخیز کال‌آجی نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول ٤ پیداست بخش عمده حوضه موردمطالعه دارای شیب بیش از ۱۲ درصد (۷۵ درصد مساحت حوضه) داشته‌اند که نشان از ناهموار بودن حوضه و تأثیر آن روی فرسایش و رسوب است.

1 Dai and Lee



شکل ۱۰- نقشه ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)



شکل ۱۱- نقشه درصد شیب حوضه

جدول ٤. شیب حوضه

طبقات شیب (درصد)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
٠–٥	٤٢٦٥/٢٩	٢٤/٩٤
٥–١٢	٦٧٩٢/٧	٣٩/٧٢
١٢–٢٥	٥٩٩١/١٩	٣٥/٠٣
٢٥–٤٠	٥٠/٧٦	٠/٢٩

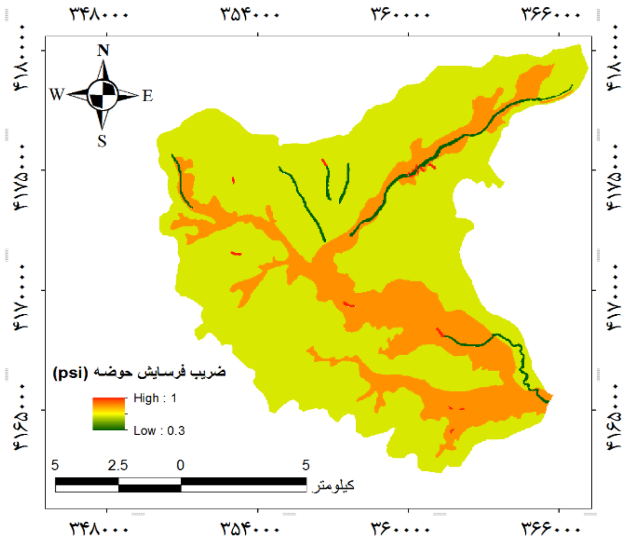
۳-۵- مقادیر ضریب فرسایش منطقه (Ψ)

پس از انجام بازدیدهای متعدد از حوضه موردمطالعه، نقشه اشکال مختلف فرسایش تهیه گردید، به‌طورکلی در حوضه کال‌آجی ۵ تیپ فرسایش مشاهده گردید که در جدول ۵ انواع مختلف فرسایش و ضرایب مربوطه آمده است. همچنین در شکل ۱۲ به‌صورت نقشه ضریب فرسایش حوضه نشان داده شده است.

جدول ۵- انواع مختلف فرسایش در حوضه و ضرایب فرسایش

شماره	نوع فرسایش	ضریب فرسایش Ψ
۱	Dulin	۰/۷
۲	River Bank Erosion	۰/۳

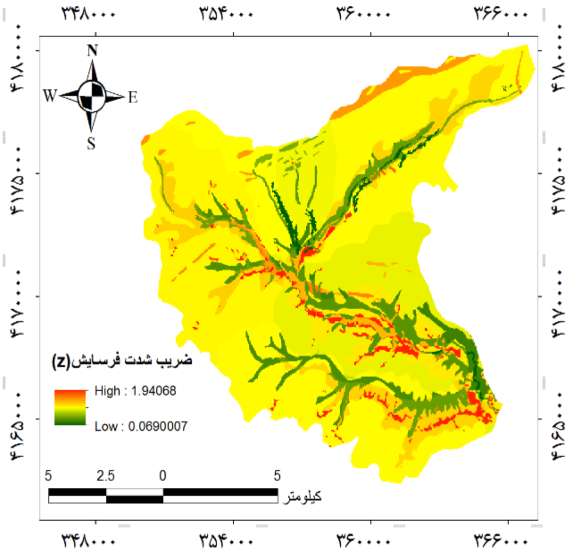
۳	Gully	۱/۰
٤	River Erosion + Sheet Erosion + Micro terrace	۰/۷
٥	sheet + rill + river + splash erosion	۰/٦



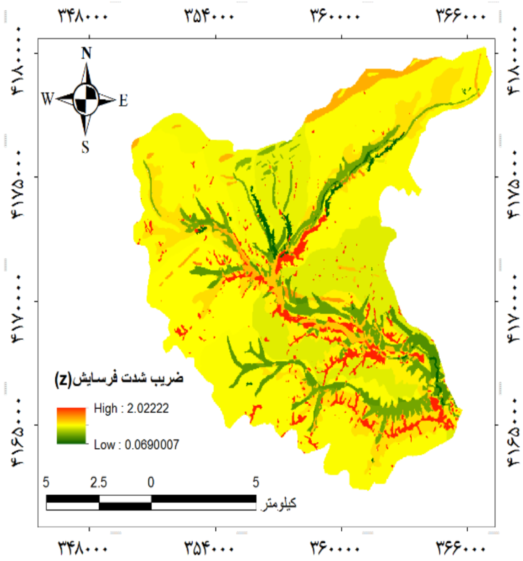
شکل۱۲- نقشه ضریب فرسایش حوضه

۳-٦- ضریب شدت فرسایش

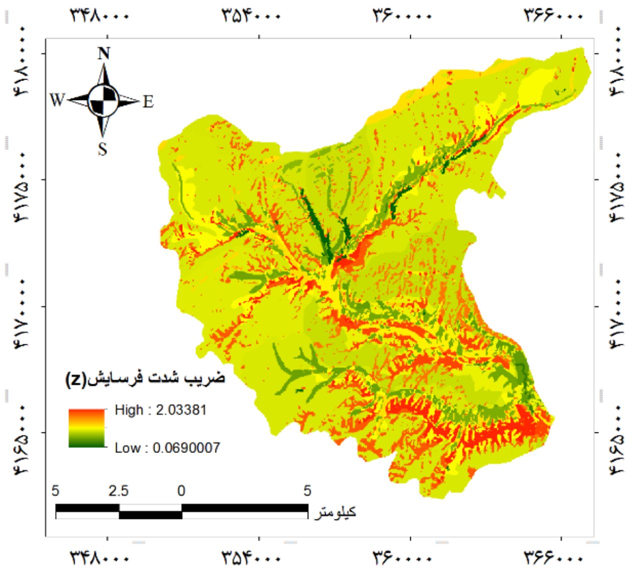
پس از تهیه عوامل چهارگانه مدل و جای‌گذاری آن‌ها ضریب شدت فرسایش در اشکال ۱۳، ١٤ و ١٥ در سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ نشان داده شده است. همچنین در جدول ٦ شدت فرسایش در زیرحوضه‌های مختلف را می‌توان مشاهده کرد. علت شدید بودن فرسایش در این زیرحوضه‌ها، شیب زیاد و حساسیت سنگ‌ها نسبت به فرسایش و خصوصاً تغییرات کاربری اراضی است.



شکل ۱۳- نقشه ضریب شدت فرسایش (Z) در سال ۱۳٦٦



شکل ١٤- نقشه ضریب شدت فرسایش (Z) در سال ۱۳۸۹



شکل ١٥- نقشه ضریب شدت فرسایش (Z) در سال ۱۳۹۸

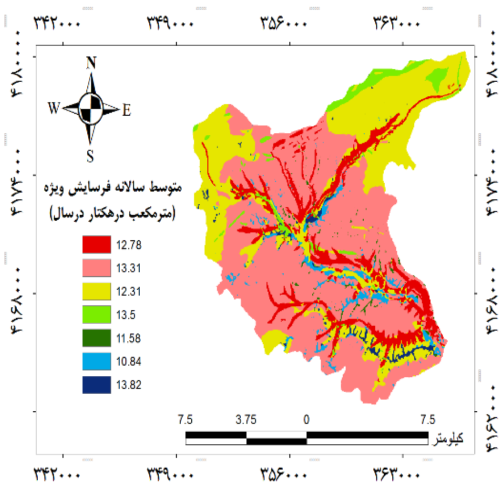
جدول ٦- ضریب شدت فرسایش زیر حوضه‌های آبخیز کال‌آجی

زیر حوضه‌های آبخیز	Z-۱۳٦٦	Z-۱۳۸۹	Z-۱۳۹۸	شدت فرسایش
۱	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۹۵	شدید
۲	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۸	شدید
۳	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۹۲	شدید
٤	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۹	شدید
٥	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷٦	شدید
٦	۰/۷٤	۰/۷٥	۰/۸۱	شدید
۷	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸٦	شدید
میانگین	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۸۷	

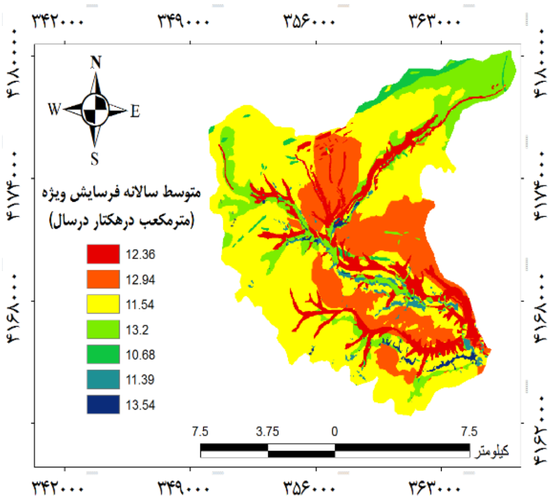
بر اساس جدول شماره ٦ می‌توان نتیجه گرفت مقدار ضریب شدت فرسایش حوضه در فاصله زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ در مجموع در همه زیرحوضه‌ها افزایشی بود و در ضمن در زیرحوضه شماره ۳ مقدار آن حداقل (۰/۱) و در زیرحوضه شماره ٤ مقدار آن حداکثر (۰/۸) است.

۳-۷- برآورد فرسایش ویژه در هر یک از زیر حوضه‌ها

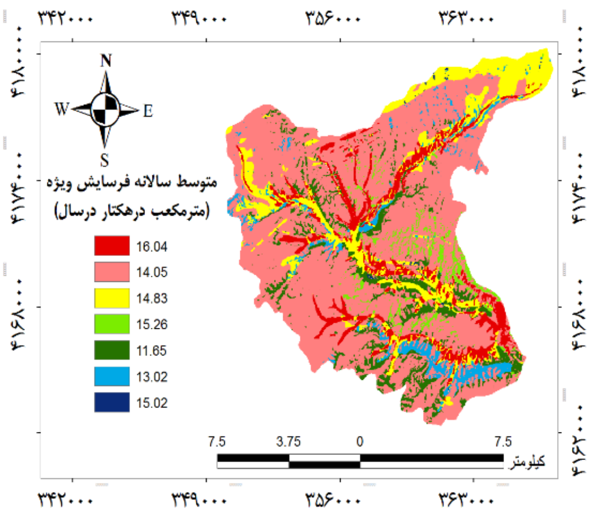
در ادامه نتایج محاسبات برآورد مقادیر فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌ها در اشکال ١٦، ١٧ و ١٨ همچنین در جدول ۷ و ۸ و شکل ١٩ درصد فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی ارائه گردیده است. با توجه به جداول ۸ و ۹ فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع در همه زیرحوضه‌ها در فاصله زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ کماکان افزایشی بوده منتها در زیرحوضه شماره ٥ مقدار آن حداقل (۹٦/٥۱) و در زیرحوضه شماره ۳ (۳۲۸/۹۸) مقدار آن حداکثر است. همچنین، نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد مقدار فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف متفاوت است. به‌طوری‌که زیر حوضه شماره ٥ و ٤ در هر سه دوره نسبت به سایر حوضه‌های دیگر مقدار فرسایش بیشتری را به خود اختصاص داده است و زیرحوضه ٥ و زیرحوضه شماره ٦ در بازه زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ کمترین مقدار فرسایش را به خود اختصاص است.



شکل ۱۷- نقشه فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳۸۹



شکل ۱٦- نقشه فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳٦٦



شکل ۱۸- نقشه فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳۹۸

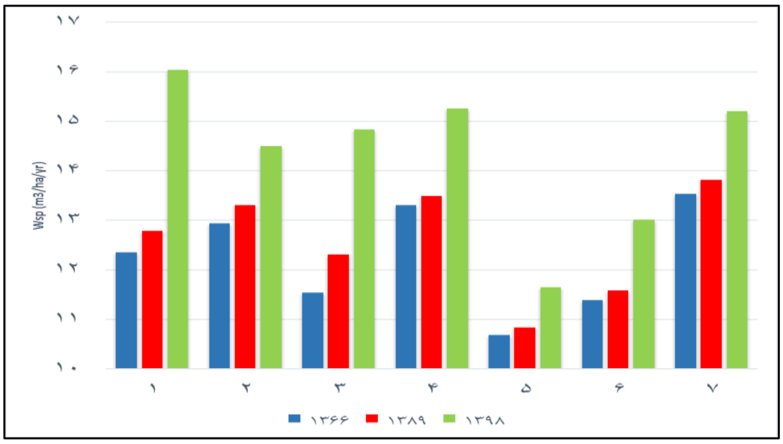
جدول ۷- درصد فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌ها در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

زیر حوضه‌های آبخیز	Wsp (m^3/ha/yr)		
	۱۳٦٦	۱۳۸۹	۱۳۹۸
۱	۱۲/۳٦	۱۲/۳٦	۱۲/۷۸
۲	۱۲/۹٤	۱۲/۹٤	۱۳/۳۱
۳	۱۱/٥٤	۱۱/٥٤	۱۲/۳۱

زیر حوضه‌های آبخیز	Wsp (m^3/ha/yr)		
	۱۳٦٦	۱۳۸۹	۱۳۹۸
٤	۱۳/۳۰	۱۳/۳۰	۱۳/٥۰
٥	۱۰/٦۸	۱۰/٦۸	۱۰/۸٤
٦	۱۱/۳۹	۱۱/۳۹	۱۱/٥۸
۷	۱۳/٥٤	۱۳/٥٤	۱۳/۸۲
میانگین	۱۲/۳٦	۱۲/٤۲	۱۲/٥۹

جدول ۸- فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌های حوضه آبخیز کال آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

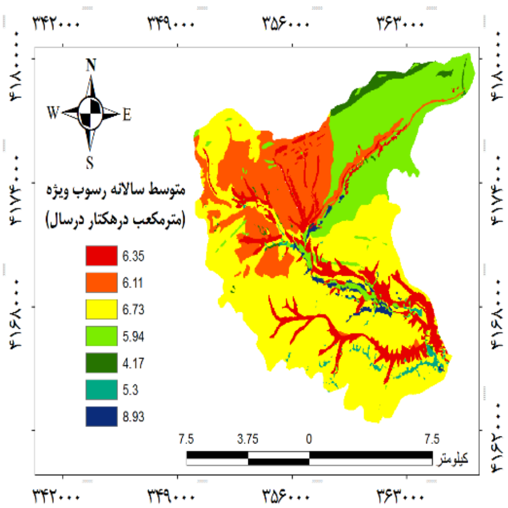
زیر حوضه‌های آبخیز	Wsp-۱۳٦٦ (M^3/Km^2/Year)	Wsp-۱۳۸۹ (M^3/Km^2/Year)	Wsp-۱۳۹۸ (M^3/Km^2/Year)
۱	۱۲۳٥/۹۰	۱۲۷۸/۲۷	۱٦۰۳/۸۰
۲	۱۲۹۳/۷۳	۱۳۳۰/٦۹	۱٤٤۹/٦٤
۳	۱۱٥٤/٤٤	۱۲۳۱/۰٦	۱٤۸۳/٤۲
٤	۱۳۳۰/۳٥	۱۳٤۹/۷٤	۱٥۲٥/۸٦
٥	۱۰٦۷/۰۹	۱۰۸۳/٦۸	۱۱٦٤/٦۰
٦	۱۱۳۸/۹۲	۱۱٥۷/۹٤	۱۳۰۱/۷۰
۷	۱۳٥٤/۰۰	۱۳۸۲/۱۷	۱٥۲۰/۲۳
جمع	۸٥۷٥/٤٤	۸۸۱۳/٥٥	۱۰۰٤۹/۲٥
میانگین	۱۲۲٥/۰٦	۱۲٥۹/۰۸	۱٤۳٥/٦۱



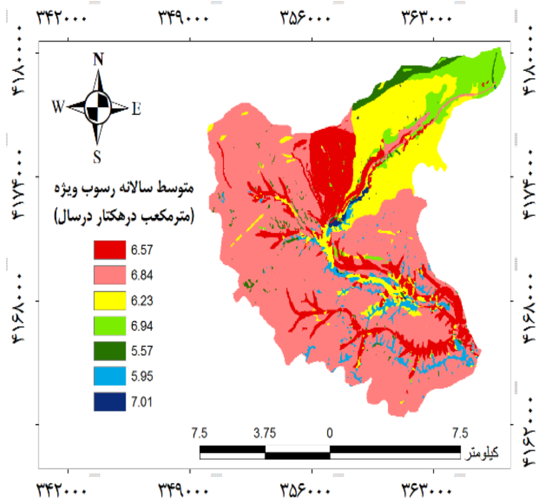
شکل ۱۹- نمودار درصد فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌های کال آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

۳-۸- برآورد رسوب ویژه در هر یک از زیرحوضه‌ها

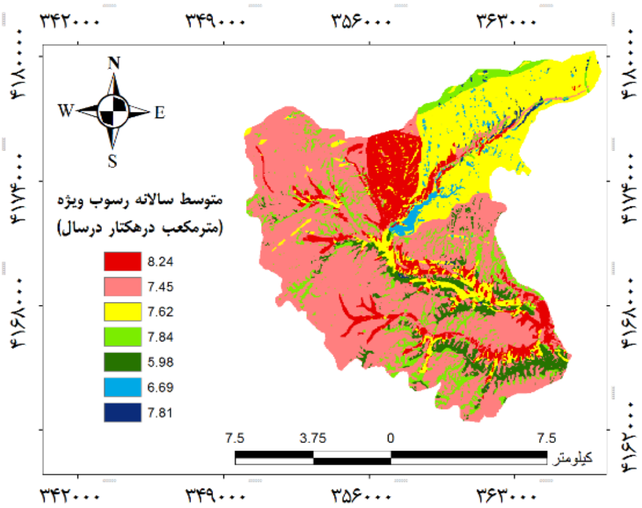
با توجه به مقادیر متوسط ضریب شدت فرسایش (Z) در هر یک از واحدهای کاری حوضه آبخیز کال‌آجی، رسوب ویژه مربوط به هر زیرحوضه با استفاده از روش میانگین وزنی محاسبه گردید. در ادامه نتایج محاسبات برآورد مقادیر رسوب هر یک از زیر حوضه‌ها در اشکال ۲۰، ۲۱ و ۲۲ همچنین در جدول ۹ و ۱۰ و شکل ۲۳ درصد رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۱۰ رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع در همه زیرحوضه‌ها به‌جز زیر حوضه شماره ۷ در فاصله زمانی ١٣٦٦ تا ۱۳۹۸ کماکان افزایشی بوده است. همچنین، نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد مقدار رسوب هر یک از زیرحوضه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف متفاوت است. به‌طوری‌که زیرحوضه شماره ۷ و ۱ در هر سه دوره نسبت به سایر زیرحوضه‌های دیگر مقدار رسوب بیشتری را تولید کرده است و زیرحوضه ۵ و زیرحوضه شماره ٦ در بازه زمانی بین ١٣٦٦ تا ۱۳۹۸ کمترین مقدار رسوب را تولید کرده است.



شکل ۲۰- نقشه رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ١٣٦٦



شکل ۲۱- نقشه رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳۸۹



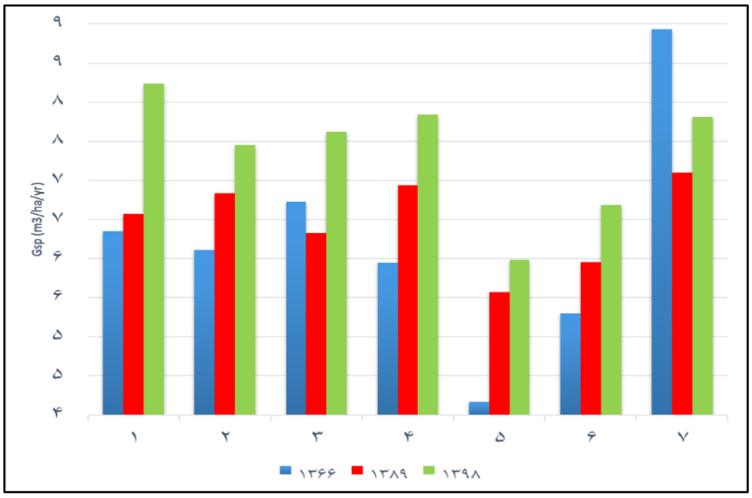
شکل ۲۲- نقشه رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی در سال ۱۳۹۸

جدول ۹- رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

زیر حوضه‌های آبخیز	Gsp–۱۳٦٦ (M^3/Km^2/Year)	Gsp-۱۳۸۹ (M^3/Km^2/Year)	Gsp-۱۳۹۸ (M^3/Km^2/Year)
۱	٦۳٥/۰۹	٦٥٦/۸٦	۸۲٤/۱٤
۲	٦۱۱/۰۰	٦۸۳/۸۰	۷٤٤/۹۲
۳	٦۷۲/۹۸	٦۳۲/٦۰	۷٦۲/۲۸
٤	٥۹٤/۳٦	٦۹۳/٥۹	۷۸٤/۰۹
٥	٤۱٦/۷۲	٥٥٦/۸۷	٥۹۸/٤٥
٦	٥۲۹/۹۹	٥۹٥/۰۲	٦٦۸/۹۰
۷	۸۹۲/۹۸	۷۱۰/۲٥	۷۸۱/۱۹
جمع	٤۳٥۳/۱۲	٤٥۲۹/۰۰	٥۱٦۳/۹۷

جدول ۱۰- درصد رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

زیر حوضه‌های آبخیز	Gsp (m^3/ha/yr)		
	۱۳٦٦	۱۳۸۹	۱۳۹۸
۱	٦/۳٥	٦/٥۷	۸/۲٤
۲	٦/۱۱	٦/۸٤	۷/٤٥
۳	٦/۷۳	٦/۳۳	۷/٦۲
٤	٥/۹٤	٦/۹٤	۷/۸٤
٥	٤/۱۷	٥/٥۷	٥/۹۸
٦	٥/۳۰	٥/۹٥	٦/٦۹
۷	۸/۹۳	۷/۱۰	۷/۸۱



شکل ۲۳- نمودار درصد رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مجموع مقادیر رسوب ویژه مربوط به بازه زمانی ۱۳٦٦ (مترمکعب ٤۳٥۳/۱۲) بوده که این میزان در سال ۱۳۹۸ به ٥۱٦٤/۰۰ مترمکعب افزایش داشته است که با تغییرات افزایشی یا کاهشی تغییرات کاربری اراضی رخ داده، در منطقه همخوانی دارد. چنانچه مشاهده شد که سطح اراضی کشاورزی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۸۳ درصد افزایش داشته است.

با توجه به جدول۱۰ و با در نظر گرفتن وزن مخصوص رسوب معادل ۱/۳ تن در مترمکعب در کل حوضه به ترتیب برای سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ آورده شده است که مقدار رسوب برای بازه زمانی ۱۳٦٦ معادل ٥۷۰۲/٦۲ تن در سال، برای بازه زمانی ۱۳۸۹ معادل ٥۸۸۷/۷۲ تن در سال و برای بازه زمانی ۱۳۹۸ معادل٦۷۱۳/۲۰ تن در سال است، که با تقسیم بر مساحت حوضه مقداری برابر ۰/۳۳ تن در هکتار در سال ۱۳٦٦، ۰/۳٤ تن در هکتار برای سال ۱۳۸۹ و ۰/۳۹ تن در هکتار برای سال ۱۳۹۸ برآورد گردید.

٤- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در ۳۲ سال گذشته و اثرات آن روی فرسایش و رسوب صورت گرفته است. نتایج طبقه‌بندی تصاویر در این بررسی همانند دیگر تحقیقات صورت گرفته، بیانگر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین است. استفاده از تصاویر چند زمانه با بازه‌های زمانی معین، می‌تواند به مدیران در پایش منابع طبیعی و تصمیم‌گیری درباره آینده کمک کند. نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده از حوضه موردبررسی نشان می‌دهد که درصد مساحت کشاورزی، مرتع،

مسکونی و پهنه‌های آبی در سال ۱۳٦٦ به ترتیب ٤/۱۹، ۹۵/۰٤، ۰/۷۷ و ۰ بوده که در سال ۱۳۸۹ به ترتیب به ۷/۲۱، ۹۱/۹٤، ۰/۷۷ و ۰/۰۸ رسیده و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۲۱/۰۲، ۷۸/۱۲، ۰/۷۸ و ۰/۰۸ رسیده است؛ به‌عبارت‌دیگر در ۳۲ سال گذشته (۱۳٦٦–۱۳۹۸) حدود ۲۸۷٦ هکتار از سطح مراتع کاسته شده که تقریباً تمام آن به کشاورزی تبدیل شده است. درصد کاهش مساحت مرتع در دوره زمانی ۱۳٦٦–۱۳۸۹ و ۱۳۸۹–۱۳۹۸ به ترتیب ۳/۱۰ و ۱۳/۸۲ است. سرعت رشد مسکونی در حوضه موردمطالعه بسیار کم است. بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین سال‌های مختلف در حوضه نشان داد که تغییرات صورت گرفته عموماً به‌صورت کاهش سطح مرتع و افزایش مساحت اراضی کشاورزی است. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عامل اصلی تغییرات کاربری اراضی در حوضه موردمطالعه، دخالت‌های انسانی است. می‌توان گفت نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه افرادی چون اسفندیاری و همکاران (۲۰۱٤)، مرادی و همکاران (۲۰۱٦)، فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، اصغری‌سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۷)، مارتینز و همکاران (۲۰۱۱) و داسیلوا و همکاران (۲۰۱٦) تطابق دارد. بدین‌صورت که آن‌ها نیز معتقدند کاربری کشاورزی از بیشترین پتانسیل و مراتع از کمترین پتانسیل برای ایجاد فرسایش برخوردارند. نتایج نشان داد که ضریب شدت فرسایش در سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۸٦ به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۸۰ و ۰/۸۷ است. مشاهده می‌شود که روند تغییرات ضریب شدت فرسایش افزایشی است. در ضمن، میزان فرسایش ویژه حوضه در این سال‌ها به ترتیب ۱۲۲۵/۰٦، ۱۲۵۹/۰۸ و ۱٤۳۵/٦۱ مترمکعب در کیلومترمربع در سال است؛ یعنی سال ۱۳۹۸ متناظر با ضریب شدت فرسایش، فرسایش ویژه بیشتری داشته است. کشت‌وکار روی سازندهای سیلتی–رسی حساس به فرسایش آبی، احداث تاکستان‌های دیم روی دامنه‌های شیب‌دار و تخریب مراتع منجر به فرسایش تشدیدی در خاک‌های سطح حوضه شده است. این تغییرات نقش مهم مراتع و پوشش گیاهی حوضه آبخیز کال‌آجی را نشان می‌دهد که موجب افزایش میزان رسوب خروجی زیر حوضه‌ها گردیده است.

به نظر می‌رسد لازم است در جهت حفظ عرصه‌های طبیعی، تثبیت و قانونی کردن کاربری اراضی و کنترل فرسایش، اقداماتی برای حفاظت از خاک و آب در مناطق با پتانسیل فرسایش بالا در چهارچوب طرح‌های حفاظتی در دستور کار متخصصان و مدیران اراضی قرار گیرد. از سوی دیگر، هرگونه تغییر در کاربری اراضی حوضه موردمطالعه، بایستی بر اساس آگاهی و دانش کافی از محدودیت‌های زیست‌محیطی منطقه و خطرات احتمالی ناشی از تغییر کاربری اراضی باشد.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ ۱۳۸٦. *ژئومورفولوژی کاربردی* جلد ۱ (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران. ٦۸۸ص.

اسفندیاری، مهرداد؛ معینی، ابوالفضل؛ مقدسی، راحله؛ ۱۳۹۳. بررسی تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر اشکال فرسایش و میزان تولید رسوب (مطالعه موردی حوزه آبخیز رود ورس استان قزوین). *مجله جغرافیای سرزمین*، ۱۱ (۲)، ٥۱-٦۲.

https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_7974_931e5dd1c2fe799361af66c7f9057b3a.pdf

اصغری‌سراسکانرود، صیاد؛ آقایاری، لیلا؛ پیروزی، الناز؛ ۱۳۹٦. بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر فرسایش با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: شهرستان نیر). *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۸(٤)، ٤۹-٦۲.

https://journals.iau.ir/article_539088_e6b20b13c35e7d599fb4903c04889227.pdf

بیات، رضا؛ سررشته‌داری، امیر؛ جعفری‌اردکانی، علی؛ سکوتی‌اسکویی، رضا؛ ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تأثیر مدیریت کاربری اراضی بر فرسایش خاک حوزه آبخیز دریاچه ارومیه. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ٤(۳)، ۱۲٦-۱۱۸.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_101747_0478a26d93d1e69b070962d76161e3ad.pdf

تاجیکی، مهدی؛ ۱۳۸٦. *ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر روی سیل‌خیزی و رسوبدهی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رامیان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

خاکسار، کاوه؛ گودرزی، مسعود؛ غریب‌رضا، محمد رضا؛ رحمتی، مراحم؛ ۱۳۸٥. تعیین حساسیت سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز مهارلو به فرسایش. *فصلنامه علوم زمین*، ٦۲، ۱۲۹-۱۱٦.

https://www.sid.ir/paper/31920/fa

دادرسی سبزوار، ابوالقاسم؛ رنگ‌آور، عبدالصالح؛ ۱۳۸٤. بررسی اثر تغییرات عمق خاک و شیب بر میزان تولید رسوب، ***مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب***، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

https://civilica.com/doc/8325

رفاهی، حسینقلی؛ ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.٦۷۲ص.

علوی پناه، سیدکاظم؛ احسانی، امیرهوشنگ؛ ۱۳۸۲. بررسی بیابانزایی و تغییرات اراضی پلایای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چند طیفی. *مجله بیابان*، ۹(۱)، ۱٤۳-۱٥٤.

https://www.sid.ir/paper/5320/fa

عابدینی، موسی؛ شبرنگ، شنو؛ اباذر، اسمعلی؛ ۱۳۹۲. بررسی میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه آبخیز مشکین‌چای به روش EPM، *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۳۰)، ۱۰۰-۸۷.

https://gdij.usb.ac.ir/article_245_2765332d8717e2e654a4562074d00f1d.pdf

فیضی زاده، بختیار؛ ۱۳۹٦. مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS. *هیدروژئومورفولوژی*، ۳ (۱۱)، ۲۱-۳۸.

https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6712_863dc2dac02f02a7b0225f6656988e3d.pdf

قهرمان‌نژاد، اسلام؛ نظرنژاد، حبیب؛ میریعقوب‌زاده، میرحسن؛ ۱۳۹٦. تأثیرسناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با مدل USLE در حوضه کلیبرچای. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک* (علمی – پژوهشی)، ۷ (۲)، ۹۱-۱۰٤.
https://wsrcj.srbiau.ac.ir/article_11548_fbb577c5d2c4a9acfce07613bcb0189f.pdf

قنبرزاده، هادی؛ غلامرضایی، محمدرضا؛ ۱۳۸۸. برآورد پتانسیل فرسایش و رسوب با مدل EPM در حوضه آبخیز آرکمر در فریمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله علوم جغرافیایی*، شماره ۷(۸)، ۱۸۷-۲۰٦.
https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-161-fa.pdf

مرادی، علیرضا؛ جعفری، محمد؛ ارزانی، حسین؛ ابراهیمی، مهدیه؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تغییر کاربری اراضی مرتعی به دیم‌زار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۷(۱)، ۱۰۰-۸۹.
https://girs.bushehr.iau.ir/article_521998_022633f2b5e8579d69d594091d629719.pdf

نبی‌پی لشکریان، سارا؛ ۱۳۷۹. *بررسی اثرات کاربری اراضی در فرسایش خاک و رسوبدهی حوضه آبخیز رودخانه ماسوله در گیلان*، پایاننامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان https://www.virascience.com/thesis/4940

یمانی، مجتبی؛ اسکندری‌نژاد، فاطمه؛ ۱۳۸۹. تأثیر عوامل ژئومورفولوژیک بر رسوب‌زایی حوضه قزقنچای (زیرحوضه حبله‌رود در بالا دست سد نمرود). *مجله پژوهش‌های علوم زمین* ۱، ۱۷-۱.
https://rtis2.ut.ac.ir/cv/myamani/

Adélia N, Nunes ACA. and Celeste C., 2011. Impact of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. Applied Geography, 31(2): 687–699. DOI: 10.1016/j.apgeog.2010.12.006. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.12.006

Battany MC. and Grismer ME., 2000. Rainfall runoff and ero-sion in Napa Valley vineyards effect of slope cover and surface roughness, Hydrological process. Vol. 14, PP: 1289-1304. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200005)14:7<1289::AID-HYP43>3.0.CO;2-R

Bolstad, P. V, and Lillesand, T. M, (1991). Rapid maximum likelihood classification Photogramm. Eng. Remote Sens. 57.
https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1991journal/jan/1991_jan_67-74.pdf

Chavez PS., 1996. Image-based atmospheric corrections-Revisited and improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62, 1025– 1036. http:// static1.1.sqspcdn.com/ static/f/891472/15133582/1321370214637/Chavez_P.S._1996.pdf

Da Silva VPR, Silva MT. and De Souza, EP., 2016. Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the Sao francisco river basin, Soil Engineering, 36 (6), 1005-1015. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1005-1015/2016

Dai FC. and Lee C.F., 2002. Landslide characteristics and slope stability Modeling using GIS, Lantau, Island, Hong Kong, Geomorphology, 31, 181-216.http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00087-3

Du Y, Teillet PM. and Cihlar J., 2002. Radiometric normalization of multi-temporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sensing of Environment 82: 123–134.https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00029-9

Ghosh K, Kumar DS, Sushima S. and Bandyopadhyay S., 2013. Assessment of soil loss of the Dhalai River Basin, Tripura, India using RUSLE. International Journal of Geosciences., 4: 11-23. https://www.scirp.org/pdf/IJG_2013011115152357.pdf

Martínez-Murillo MJF, Lopez Vicente M, Poesen J. and Ruiz Sinoga JD., 2011. Modelling the effects of land use changes on runoff and soil Eerosion in two Mediterranean catchments with active gullies (South of Spain), Landform Analysis, 17(1), 99-104. https:// idp.kuleuven.be/ idp/ profile/ SAML2/ Redirect/ SSO? execution=e2s1

Milevski I., 2008. Estimation of soil erosion risk in a upper part of Bregalnica watershed- republic of Macedonia, based on digital elevation model and satellite imagery, 5th international Conference on Geographic Infromation systems (ICGIS), 351-358. http:// www.milevski.50webs.com/trudovi/Ivica%20Milevski%20Estimation%20of%20soil%20erosion%20risk%20in%20the%20upper%20part%20of%20Bregalnica%20watershed.pdf

Paroissien JB, Darboux F, Couturier A, Devillers B, Mouillot F, Raclot D. and Le Bissonnais Y., 2015. A Method for modeling the effects of Climate and Land Use Changes on Erosion and Sustainability of Soil in a Mediterranean Watershed (Languedoc, France). Journal of Environmental Management. 150:57-68 https://shs.hal.science/halshs-01103359/document

Shellberg JG, Spencer J, Brooks AP. and Pietsch TJ., 2016. Degradation of the Mitchell River Fluvial Megafan by Alluvial Gully Erosion Increased by Post-European Land Use Change, Queensland, Australia. Geomorphology, 266: 105–120. https:// doi.org/ 10.1016/ j. geomorph. 2016. 04.021

Tangestani M., 2006. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield in a semi-arid Environment, Journal of Asian earth Science, 27(5), 585-597. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.06.002

Ye B. and Bai Z., 2008. Simulating land use/land cover changes of Nanjing County based on Ca-markov model. In IFIP International Federation for Image processing, Vol, 1, 321-329.https://dl.ifip.org/db/conf/ifip12/ccta2007-1/YeB07.pdf

Yuan Z, Chu Y. and Shen Y., 2015. Simulation of surface runoff and sediment yield under different land-use in a Taihang Mountains watershed, North China. Soil & Tillage Research. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198715000872.